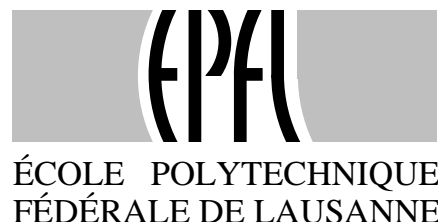


EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE LAUSANNE
 POLITECNICO FEDERALE DI LOSANNA
 SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY LAUSANNE

DEPARTEMENT DE MICROTECHNIQUE
INSTITUT DE PRODUCTION MICROTECHNIQUE
 CH - 1015 LAUSANNE

Thomas MAEDER
 tél. direct : ++41 21 693.58.23
 tél. secrétariat : ++41 21 693.38.17
 fax : ++41 21 693.38.91
 E-mail : thomas.maeder@epfl.ch



01.04.20 ajustement mN v1.doc

Ajustement des capteurs MilliNewton, 1^e version.

Ajustement et stabilité de la 1^e version des capteurs de force MilliNewton amplifiés.

Abgleich und Stabilität der 1. Version des verstärkten MilliNewton-Kraftsensoren.

Thomas Maeder, 20.4.2001

Projets: MilliNewton, TEPLAZID-ajustement.

Mots-Clefs: offset, MilliNewton, ajustement capteurs, TCO, stabilité.

Table des matières

1. Introduction	2
2. Expériences	2
3. Résultats	5
4. Conclusions	10
A. Programme d'ajustement actif des capteurs.....	11

Résumé

L'ajustement automatique en batch du capteur de force MilliNewton a été réalisé avec l'infrastructure développée dans ce but à l'IPM : un posage permettant d'appliquer et d'enlever un poids de référence, ainsi qu'une table chauffante pour la compensation en température. Les problèmes rencontrés dus aux frottements entre le bras portant le poids et la bille des capteurs ont été en grande partie résolus en introduisant une structure complaisante.

En revanche, les essais ont aussi permis de constater plusieurs défauts de la 1^e version de MilliNewton : la stabilité, la précision d'ajustement et le coefficient en température laissent encore à désirer.

Kurzfassung

Der automatische Batch-Abgleich des MilliNewton-Kraftsensoren wurde mit der beim IPM für diesen Zweck entwickelten Infrastruktur durchgeführt : eine Montage, die das Anlegen und Abziehen des Referenzgewichts erlaubt, und eine Heizplatte für den Temperaturabgleich. Die durch Reibung zwischen Gewichtsträger und Sensorkugel verursachte Probleme wurden durch den Einsatz einer elastischen Struktur weitgehend beseitigt.

Dagegen wurden bei den Messungen mehrere Nachteile der 1. Version von MilliNewton festgestellt : Stabilität, Abgleichgenauigkeit und Temperaturkoeffizient lassen noch übrig zu wünschen.

1. Introduction

La 1^e version des capteurs MilliNewton est caractérisée par plusieurs "défauts de jeunesse", qu'on a cherché à corriger dans la version suivante.

- Ajustement grossier des poutres impossible en substrats, impossibilité due à des boucles de courant.
- Taille insuffisante des résistances d'ajustement sur l'embase, ce qui nuit à la stabilité.
- Sérigraphie et cuisson mal contrôlées des poutres, d'où un très mauvais appariement de l'offset et surtout du coefficient en température de l'offset *TCO*.
- Impédance élevée du pont de mesure (20 k Ω), ce qui est défavorable sur le plan du bruit.

La correction de ces défauts, ainsi que les efforts actuellement en cours pour permettre la stabilisation de l'ajustement grossier de l'offset par un verrou protecteur, devraient considérablement améliorer la stabilité et la précision des capteurs dans le futur. Ce travail présente quant à lui les résultats obtenus sur l'ancienne génération.

2. Expériences

Substrats et circuits

Le produit Sensile MilliNewton utilise deux types de circuits (photos figures 2–1 et 2–2).

- 1) **La poutre** (épaisseur 0.25 mm), qui contient le pont de mesure, ainsi que des résistances d'ajustement grossier de l'offset. Celles-ci n'ont pas été utilisées ; on a sélectionné les poutres présentant les offsets les moins importants.
- 2) **L'embase** (épaisseur 1.0 mm) qui sert de support mécanique et contient l'électronique d'amplification. Sur les 3 circuits d'amplifications présents sur le substrats ("DT400", "Kolbasi 1" et "Kolbasi 2"), seul "DT400" est utilisé ici. Comme son nom l'indique, il correspond au circuit utilisé pour l'amplification du capteur DT400 de Huba Control AG.

Dans la version actuelle du produit, la poutre est brasée sur l'embase en utilisant une brasure eutectique 96.5% Sn – 3.5% Ag (alliage Sn96). Les deux substrats sont en alumine 96% standard.

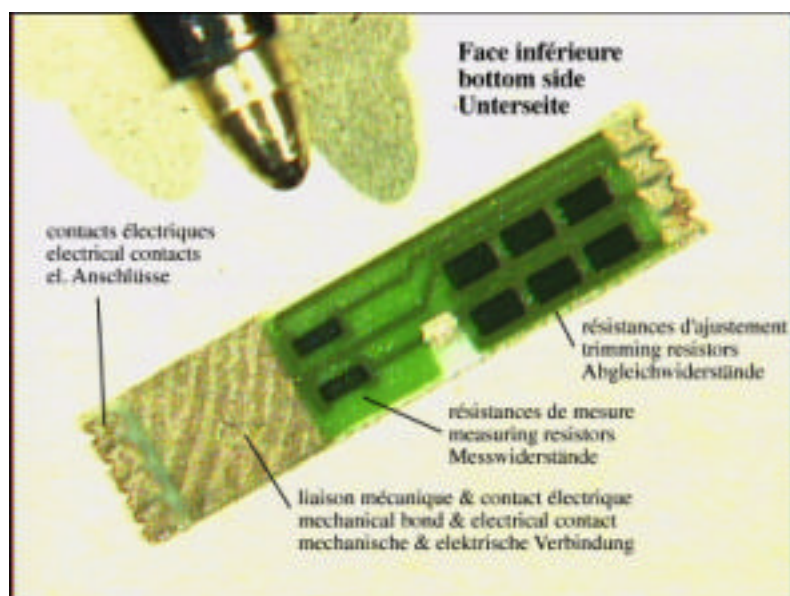


Figure 2–1. Poutre MilliNewton, version 1 (face inférieure). La poutre mesure env. 13 x 3 mm, avec une longueur effective de 8 mm pour le moment de flexion.

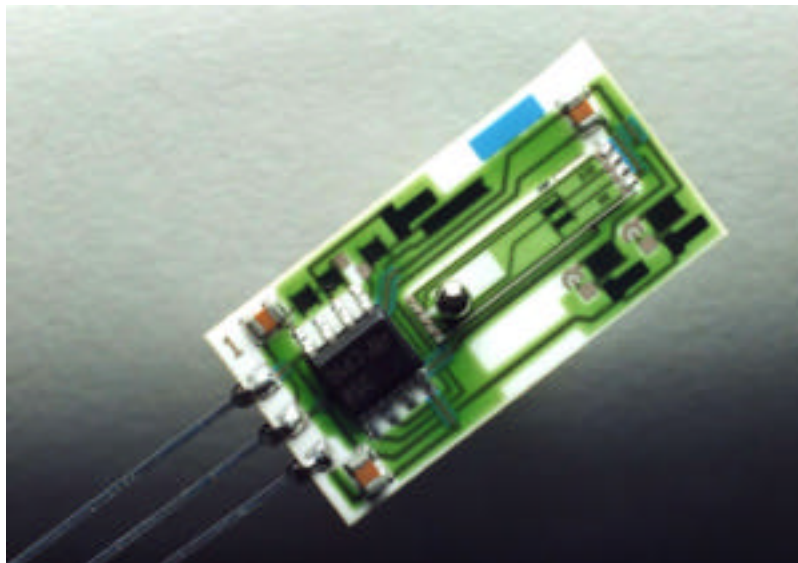


Figure 2–2. Le produit complet, avec une électronique "DT400".

Pâtes de sérigraphie

Les pâtes de sérigraphie utilisées pour la poutre et l'embase sont données ci-dessous.

- Métallisation des trous et conducteurs (poutre et embase) : ESL 9635B (Ag:Pd 3:1).
- Résistances de jauge & offset grossier (poutre) : DP 2041 (10 k Ω).
- Résistances sur l'embase : DP 2021 (100 Ω), DP 2031 (1 k Ω), DP 2051 (100 k Ω) et ESL 2612 (100 Ω , PTC). DP 2021 est utilisée pour l'ajustement fin de l'offset, et ESL 2612 pour l'ajustement du coefficient en température.
- Verrage (poutre et embase) : ESL G–481, cuit à env. 600°C.

Ajustement - description

La 1^e version de MilliNewton est ajustée pour une force nominale de 400 mN¹. Pour une tension alimentation V_{cc} de 5 V, le capteur doit donner 0.5 V ($0.1 \cdot V_{cc}$) pour 0 mN et 3.5 V ($0.7 \cdot V_{cc}$) pour 400 mN. Le capteur est théoriquement ratiométrique, mais l'offset varie quelque peu en fonction de la tension d'alimentation, fait dû à la non ratiométrie de l'offset des deux amplificateurs opérationnels utilisés (1 amplificateur double LM358).

L'infrastructure disponible à l'IPM permet (depuis mi février 2001 environ) l'ajustement laser en batch de l'offset, du gain et du TCO . Les capteurs étant encore montés individuellement, ils sont disposés dans un posage comprenant 15 logements.

Un montage comprenant un poids juché sur un bras de levier² permet d'appliquer la force nécessaire à la calibration du gain. Les contacts électriques sont assurés par des pointes à ressorts permettant de jouer sur la hauteur pour engager ou désengager le poids. Si la force verticale exercée par ce montage est très reproductible², la sensibilité du capteur aux forces horizontales parasites dues au frottement a nécessité une modification : le doigt appliquant la force sur le capteur est remplacé par une structure complaisante dans le plan horizontal³.

¹ Fiche technique "MilliNewton generic force cell", Sensile Technologies SA.

² Rapport "Montage pour ajustement du gain des poutres - qualification", T. Maeder, 20.9.2000.

³ Rapport "Erreurs des capteurs de force et de déplacement à poutre dues aux forces de frottement", T. Maeder, 3.4.2001.

L'ajustement du *TCO* est réalisé entièrement dans le laser, qui dispose dans ce but d'un porte-substrat chauffant.

Ajustement - processus

L'ajustement actif du capteur se déroule en 2 phases (A et B), dont chacune comporte plusieurs étapes. La 1^e phase se déroule avec le porte-substrat réglé sur 70°C, et la 2^e à température ambiante. La liste des différentes étapes est donnée ci-dessous.

- A1) Ajustement grossier de l'offset entre $0.06 \cdot V_{cc}$ et $0.16 \cdot V_{cc}$, où V_{cc} est la tension d'alimentation, fixée à 5.00 ± 0.05 V.
- A2) Ajustement grossier du gain, à $1.06 \cdot$ le gain final⁴. On rappelle que l'électronique DT400 utilisée ne permet que la réduction du gain, et non son augmentation.
- A3) Ajustement fin de l'offset à $0.15 \cdot V_{cc}$. Cette étape permet d'éviter l'utilisation d'une station de mesure pour l'ajustement du *TCO*^{5,6}.
- B1) Si l'ajustement du *TCO* entraînerait une saturation, ajustement de l'offset dans le sens contraire pour l'éviter dans la mesure du possible.
- B2) Ajustement du *TCO*, en décalant l'offset au moyen des résistances PTC^{5,6}. Il arrive que l'ajustement nécessaire entraînerait une saturation de l'électronique, malgré l'étape B1. Une partie des capteurs auront donc un *TCO* incomplètement compensé.
- B3) Ajustement grossier de l'offset entre $0.06 \cdot V_{cc}$ et $0.16 \cdot V_{cc}$, si nécessaire.
- B4) Ajustement final du gain.
- B5) Ajustement final de l'offset.

Tous les ajustements ont été réalisés sur l'embase (sans ajustement grossier sur la poutre), ce qui a bien entendu imposé des ajustements assez extrêmes (>10 carrés dans certains cas) sur les résistances d'ajustement fin. Afin de rendre cet ajustement possible, les meilleures poutres, dont l'offset était proche de 0, ont été sélectionnées. Il a cependant été nécessaire de tolérer des valeurs atteignant ± 20 mV/V, ce qui nécessite théoriquement une augmentation à env. 1.6 k (16 carrés) d'une des résistances d'ajustement fin. Un tel ajustement est bien entendu excessif...

En raison de problèmes de bruit encore mal maîtrisés, l'ajustement actif de cette 1^e génération de capteurs (voir programme en annexe) a été réalisé en "pas à pas", c'est-à-dire qu'on alterne coupe et mesure, chaque mesure déterminant la longueur du prochain segment coupé.

⁴ Guide "Ajustement de l'électronique de type "Huba DT 400", T. Maeder, 15.5.2000.

⁵ Guide "Ajustement en température sur plaque chauffante", T. Maeder, 15.5.2000.

⁶ Référence (préliminaire) "Capteurs piézorésistifs à couches épaisses - bases de calcul", chapitre 4, T. Maeder, 9.11.2000.

3. Résultats

3.1. Reproductibilité de la mesure

Une idée de la reproductibilité du montage permettant la calibration de MilliNewton est donnée à la fig. 3–1, où l'on a reporté la différence entre deux mesures successives sur 20 capteurs.

La reproductibilité de la mesure de l'offset est toujours meilleure que 0.1% ; les contraintes parasites dues aux pointes de mesure et au posage n'ont donc pas beaucoup d'influence. En revanche, le span montre une certaine dispersion, qui reste acceptable (mieux que 0.3%) sauf dans un cas (0.8%), où il s'agit probablement d'une erreur de positionnement du capteur dans le logement du posage d'ajustement.

Le passage à des billes plus petites et à un meilleur posage pour l'ajustement de la prochaine génération de capteurs devrait encore restreindre quelque peu l'erreur sur le span.

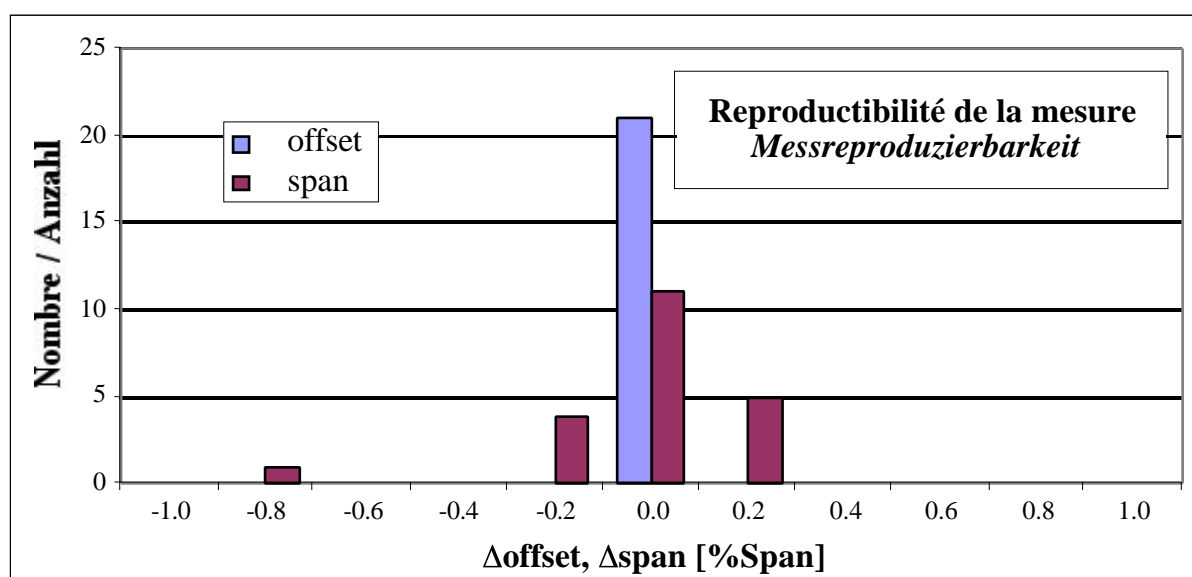


Fig. 3–1. Histogramme des différences entre deux mesures successives réalisées sur 20 capteurs.

3.2. Offset et span des capteurs

L'histogramme des erreurs d'ajustement en offset et en span est donné à la fig. 3–2. Les mesures sont prises ici moins d'une heure après ajustement, sans soumettre le capteur à une autre sollicitation que celle nécessaire à la mesure du span.

Conformément aux résultats ci-dessus, on retrouve une plus grande dispersion des valeurs du span par rapport à celles de l'offset. Une partie des erreurs est aussi due à l'algorithme d'ajustement, qui a un peu de peine en raison du grand nombre de coupes dans de très petites résistances. La précision du positionnement du capteur dans les logements du posage n'est elle non plus pas très satisfaisante, ce qui entraîne une erreur de span (longueur du bras de levier). Cette dernière erreur peut être réduite en corrigeant optiquement la position de la carte d'ajustement, ce qui a été fait à partir du capteur no 5110. Il en résulte une dispersion du span nettement plus faible.

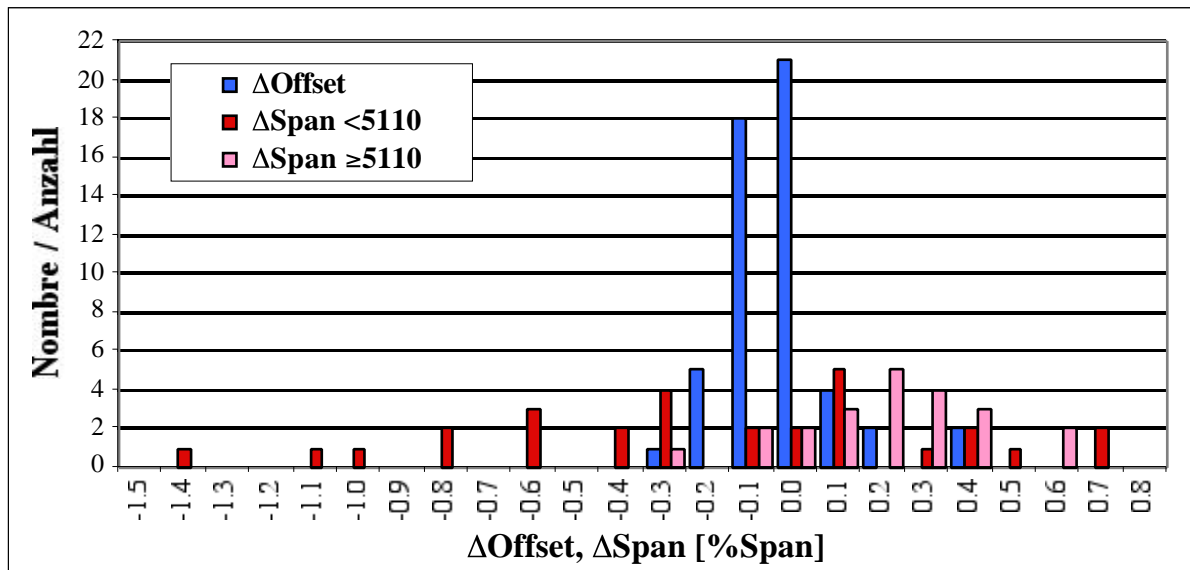


Figure 3-2. Histogramme des erreurs d'ajustement des capteurs, en offset et en span.
Position compensée optiquement à partir du capteur no 5110.

3.3. Coefficient en température de l'offset TCO

La distribution des *TCO* est donnée, à l'état brut et ajusté, à la fig. 3-3. Le *TCO* non ajusté est rapporté au gain final, afin d'être comparable au *TCO* ajusté.

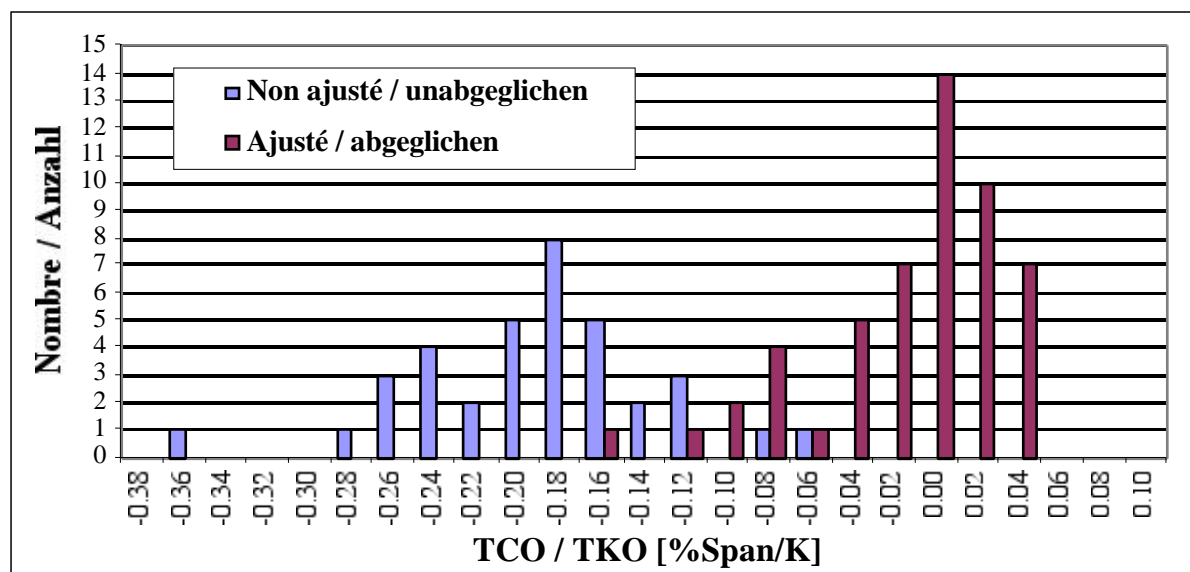


Figure 3-3. Histogramme des coefficients en température à l'état non ajusté et ajusté.
Moyenne \pm écart-type $[\%\text{span/K}]$: -0.19 ± 0.06 (non ajusté) et -0.01 ± 0.04 (ajusté).

Les *TCO* non ajustés sont tous très négatifs, et probablement dus essentiellement à la poutre. En effet, si la cuisson n'est pas optimale, on tend à obtenir un coefficient en température des résistances (*TCR*) plus élevé pour les résistances inférieures, ce qui donne un *TCO* négatif dans le cas de MilliNewton. Si on rapporte la moyenne du *TCO* non ajusté en température (-0.19 %span/K) à un span non amplifié d'env. 3 mV/V, on obtient un *TCO* brut de la poutre d'env. -6 $\mu\text{V/V/K}$, ce qui correspond bien aux résultats des *test patterns*⁷, qui donnent une différence de *TCR* entre face supérieure et face inférieure d'env. -10 ppm/K, différence qui entraînerait un *TCO* de -5 $\mu\text{V/V/K}$.

L'ajustement du *TCO* du capteur semble assez précis. Deux problèmes entraînent cependant l'existence de capteurs hors spécifications ($\pm 0.05\%$ span/K) et une dispersion assez importante du *TCO* ajusté.

- La dispersion assez importante sur les *TCO* ajustés semble être en grande partie due à l'instabilité de l'ajustement de l'offset ; après échauffement, l'offset de certains capteurs a dérivé, ce que nous verrons plus loin.
- L'algorithme d'ajustement est limité par la saturation de l'amplificateur. Dans env. 15% des cas, l'amplitude sur laquelle il faut ajuster l'offset avec les résistances PTC dépasse la plage de sortie de l'amplificateur (env. 0.1 à 3.6 V si alimenté en 5 V). Le capteur est donc "sous-ajusté", et une partie du coefficient en température négatif de la poutre subsiste.

3.4. Instabilité en température

Cycle thermique jusqu'à 100°C

Les figures 3-4 et 3-5 illustrent le problème d'instabilité de certains capteurs lors d'un simple cycle thermique entre 25°C et 100°C, dont le no 5124 (fig. 3-5) est un cas extrême. D'autres capteurs gardent en revanche un offset essentiellement inchangé, même après cyclage thermique jusqu'à 100°C. Ces capteurs stables ont aussi un comportement assez linéaire en température.

Assemblage des pattes

La stabilité thermique est importante non seulement pour l'utilisation, mais aussi pour l'ajout des pattes de sortie (fig. 2.2). En effet, il est bien plus facile d'ajouter les pattes après calibration du capteur, qui doit donc être stable lors de cette opération. Dans cette version du capteurs, les pattes sont ajoutées en 3 étapes.

- 1) Le bord du capteur comprenant les interconnexions est plongé, recouvert de décapant et avec les pattes, dans le bain de brasure Sn-Pb chauffé à env. 220°C.
- 2) Le décapant est enlevé par passage au bac à ultrasons (pleine puissance 10 min) dans de l'alcool.
- 3) On applique de la colle époxy sur la face arrière, qu'on polymérise ensuite en passant tout le capteur dans une étuve à 150°C.

La dernière étape sera supprimée dans les versions futures, qui comprendront des zones de sortie sur les deux faces. Une 4^e étape (recuit 15 min à 80°C) a ici été introduite pour quelques capteurs, afin d'essayer de relaxer d'éventuelles contraintes accumulées dans la brasure reliant poutre et embase pendant le brasage des pattes ou le collage.

Le résultat est donné à la fig. 3-6. Le passage au bain de brasure semble être l'opération la plus brutale, pouvant à elle seule donner lieu à un décalage de l'offset dépassant 1%. Le passage aux ultrasons et le collage occasionnent eux aussi des décalages, mais d'amplitude un peu moindre. Quant au recuit à 80°C, son effet atteint env. max. 0.2%.

⁷ Rapport "Einbrandbedingungen von DP-2041 Widerständen auf Al₂O₃", T. Maeder, 20.3.2000.

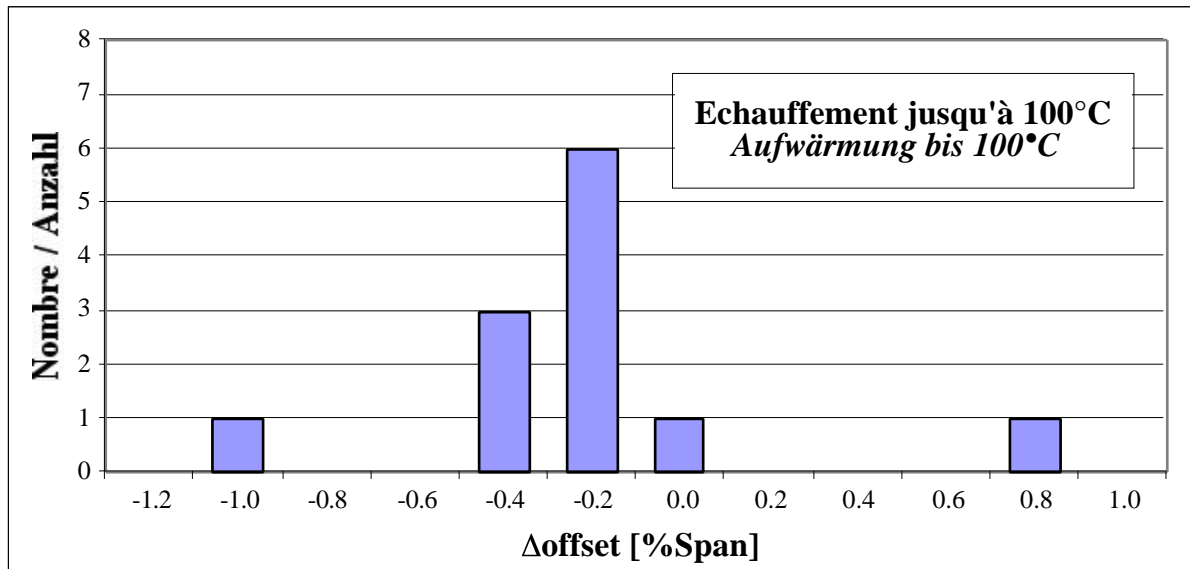


Figure 3-4. Histogramme de la variation de l'offset lors d'un échauffement jusqu'à 100°C.

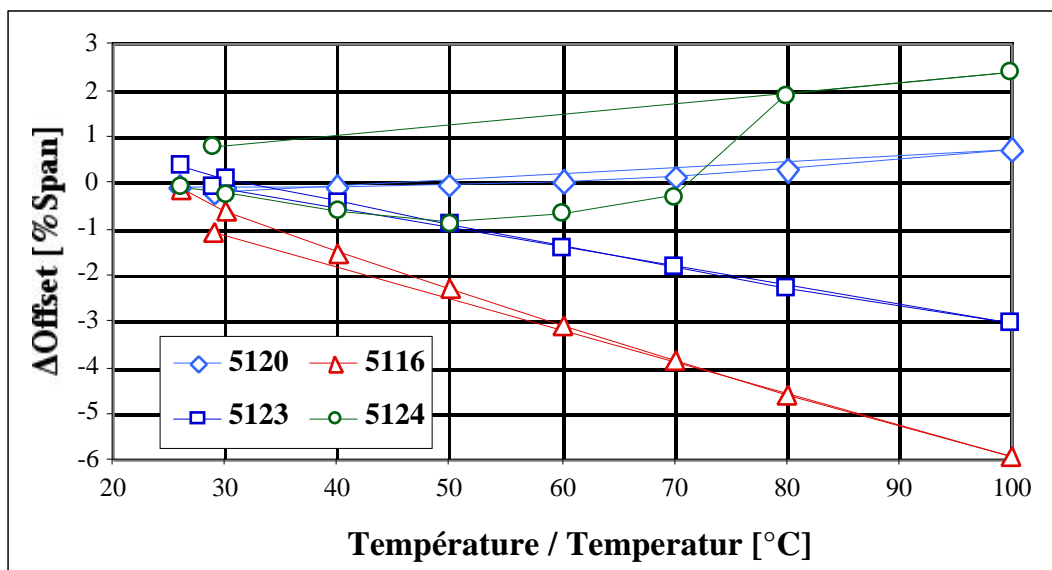


Figure 3-5. Variation de l'offset en fonction de la température pour quelques capteurs.

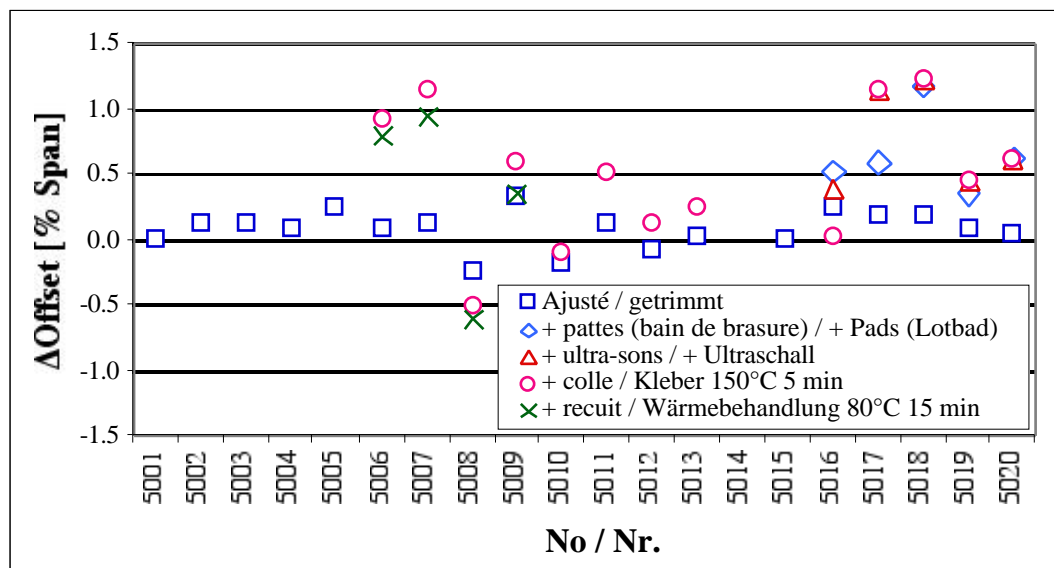


Figure 3–6. Evolution de l'offset lors des différentes étapes d'assemblage des pattes.

3.5. Instabilité dans le temps

La variation de l'offset dans le temps, après calibration des capteurs, est donnée pour les nos 5125 à 5134 à la fig. 3–7, jusqu'à 12 jours après l'ajustement. Il faut relever que, dans ce cas, il s'agit des dernières poutres montées, dont les offsets sont les plus mauvais.

Dans ce cas, l'ajustement de l'offset est vraiment très instable, et peut dériver de >2% pendant les premières 12h. La dérive ultérieure, en revanche, est nettement plus faible, ce qui indique qu'il est théoriquement possible de stabiliser l'ajustement.

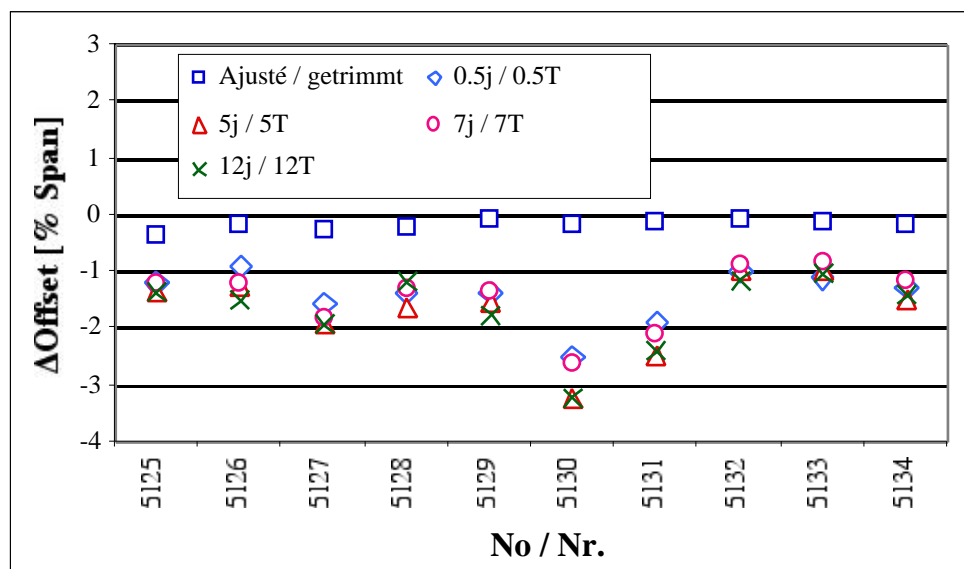


Figure 3–7. Offset des capteurs no 5125 à 5134, après calibration, puis après 12h, 5j, 7j et 12j.

4. Conclusions

Cette étude portait sur la caractérisation des premiers exemplaires du capteur de force MilliNewton avec ajustement actif automatique, en offset et en span (gain).

Le montage permettant l'application du poids² lors de l'ajustement a dû être modifié, en raison des erreurs dues aux frottements entre le doigt appliquant la force et la bille des capteurs. Conformément aux calculs³, l'introduction d'une structure complaisante a permis de supprimer dans une large mesure ces erreurs.

La précision et la stabilité de l'ajustement de cette 1^e génération des capteurs laisse encore nettement à désirer. Les différentes causes possibles sont passées en revue ci-dessous.

- **Ajustement de l'offset.** C'est probablement de loin la source d'instabilité la plus grande. En effet, les résistances d'ajustement fin de l'offset doivent subir un nombre élevé de coupes, dont la 1^e est très sévère en raison du manque d'ajustement grossier sur la poutre. Ces phénomènes sont en outre aggravés par la petite taille de ces résistances.
- **Ajustement du gain et du TCO.** On peut aussi attendre une certaine instabilité de ces deux ajustements, qui sont cependant nettement moins extrêmes (nombre et sévérité des coupes) que l'ajustement de l'offset.
- **Ajustement passif.** L'électronique de type DT400 comporte en outre quelques résistances ajustées en passif, qui peuvent aussi dériver dans le temps. Bien qu'elles aient été ajustées dans une étape antérieure, et stabilisées par quelques traitements thermiques (brasage des composants et de la poutre), un indice laisse supposer qu'elles peuvent dériver : dans certains cas, le gain du capteur augmente légèrement, chose qui n'est en principe possible qu'avec une modification de ces résistances. En effet, une évolution de la coupe d'ajustement du gain entraînerait une diminution.
- **Brasure.** Les contraintes parasites dues à l'assemblage par brasure entraînent des modifications du signal de sortie, notamment pour les poutres minces et flexibles⁸.

Tous ces phénomènes devront être traités lors de l'analyse de la 2^e génération des capteurs, qui sera étudiée beaucoup plus en détail.

- La poutre seule, non ajustée : effet de la brasure ou de la colle.
- L'ajustement grossier de l'offset, et sa stabilisation par verrage.
- L'ajustement du TCO et l'ajustement fin de l'offset.
- L'ajustement du capteur amplifié, avec 3 différentes électroniques.

⁸ Projet de semestre "Structures porteuses pour capteurs à base de zircone", B. Strub, été 2000.

A. Programme d'ajustement actif des capteurs

Laser LS9000

```
{Trimmprogramm
{ trim du coefficient en température et du gain des MilliNewton amplifiés
{ 06.03.2001 DT400
{ 15 cellules dans un posage adapté: trim en batch en 2 phases (A,B)
{ A) Ajustement préliminaire à haute température TH
{   1) ajustement de l'offset grossier (éviter la saturation)
{   2) pré-ajustement du gain
{   3) ajustement fin de l'offset (base calibration TCO)
{ B) Ajustement final à température ambiante TA
{   1) ajustement du TCO = coupe des PTC
{   2) ajustement final du gain
{   3) ajustement final de l'offset
{
let i97=1      { pilotage du trim: 0=rapide; 1=lent (GTCIEC)
{
let i98=0      { trim: 0=mesure de l'offset et mesure sous charge
{               1=phase A complète: offset, gain, offset fin TH
{               2=phase B complète: TCO, gain fin, offset final
{               3=aj. TCO seulement
{               4=phase B sans aj. TCO
{               5=ajustement grossier de l'offset (phase A*)
{               6=offset fin seulement
{               8="triche" pour augmenter le gain
{               9=numéros de série
{
let i99=2      { mode: 0: débogage(chaque pas); 1: coupe; 2: coupe auto
{
{
{ ***** Initialisation et paramètres
{
MSPEED X100 y100 P50 { Vitesse table
PMIN P0              { Hauteur pointe pendant mouvement table
GSP 1                { Vitesse Galvo (rapide)
GSR 0.4              { Vitesse Galvo (lente)
GPF 3                { Frequence pulse Laser
POWER 45             { Puissance
LASER ENA            { Laser ON
GK0 X0 Y0            { Galvo-Reset
{
calc v63=26          { température "ambiante" TA
calc v64=70          { "haute" température TH
calc v65=v64-v63     { intervalle de température pour calibration TCO
calc v66=50          { TCO max. admis en uV/V/K
calc v67=2100        { TCR des PTC (valeur utilisée dans les calculs)
calc v68=0.1         { limite de saturation inférieure (LM358)
calc v69=1.4         { limite de saturation supérieure (LM358)
calc i70=1           { attente entre mise en force et mesure
calc v70=0.002       { précision souhaitée en V/V
calc v71=0.1         { valeur-cible du zéro
calc v72=0.6         { valeur-cible de l'excursion à pleine échelle
calc v73=31.87*9.81  { force de calibration en mN
calc v74=400         { force à pleine échelle en mN
calc v75=0.15        { valeur-cible du zéro pour aj. à haute température
calc v76=0.06        { valeur min. de l'offset grossier (avant gain)
calc v77=0.16        { valeur max. de l'offset grossier (avant gain)
calc v78=1.06        { facteur d'ajustement préliminaire du gain
calc v79=1.004       { facteur d'ajustement final du gain
{
{
calc v81=20          { distance entre les colonnes de cellules
calc v82=33          { distance entre les lignes de cellules
calc i81=5           { nombre de cellules sur une ligne
calc i82=3           { nombre de cellules sur une colonne
{
{
```

```

calc v85=0.0          { offset des suiveurs (sera lu plus tard)
calc v86=10.0         { alimentation du pont (Vcc, sera lu plus tard)
{
calc v90=-4.0         { hauteur de la carte sans charge
calc v91=-5.7         { hauteur de la carte avec charge
{
{
{*** numéro de série
{
let i90=1
if i98 = 0 then init3
if i98 ! 9 then init4
label init3
in i90 t6 "Numéro de série du 1er capteur : "
label init4
{
{ ***** Position initiale
{
gk0 x3.5 y10.7
mova X-27.65 Y160.3
gpa x0 y0
LET S1='Ajuster sur rés entre pattes bas droite ampli, puis F1'
OUT S1 T5;1
MOVA T
calc i53=10           { contraste initial pour reconnaissance optique
{
{ ***** tension d'alimentation Vcc
{
subrout force0 { se connecte au 1er capteur (force à 0 si pas alimenté)
scan a19;b22          { Vcc
subrout lecture
calc v86=v1           { si < 2V, sort!
let s3=("Vcc = "+v1+" +- "+v2+" V")
out s3 t9;1
if v1 > 2 then init6
let s1="***** pas alimenté! *****"
label erreur
out s1 t14;1
let s3="***** ERREUR *****"
out s3 t12;1
gpa t
exit
label init6
subrout pos           { attente si débogage
{
{
{ ***** sauvegarde de la configuration
{
let v1=i98             { stocke la configuration dans le fichier de sortie
let v2=i99
let v3=i90
let v4=v86             { stocke aussi la tension d'alimentation Vcc
save trim.dat v 1-4 a
save trim.dat v 63-79 a { stocke aussi les paramètres de calibration
{
{
{ ***** boucle
{
let i52=i82
{
label boucleY
{
let i51=i81
{
label boucleX
{
{

```

```

let v1=i51
let v2=i52
let s1=("lignes : "+v2+" ; colonnes : "+v1)
out s1 t4;l
{
subrout optique                { reconnaissance optique
subrout pos
{
{
if i98 = 0 then boucleT0        { sélection de l'action
if i98 = 1 then boucleT1
if i98 = 2 then boucleT2
if i98 = 3 then boucleT3
if i98 = 4 then boucleT4
if i98 = 5 then boucleT5
if i98 = 6 then boucleT6
if i98 = 8 then boucleT8
if i98 = 9 then boucleT9
goto boucle9
{
label boucleT0                  { trim 0: mesure
subrout mes
goto boucle9
{
label boucleT1                  { trim 1: phase A
let v40=0.0                     {   offset grossier
let v41=v76
let v42=v77
SUBROUT offsetG
subrout gainG                   {   gain grossier
let v41=v75                     {   offset fin TH
subrout offset
goto boucle9
{
label boucleT2                  { trim 2: phase B (après phase A!)
let v40=0.13
subrout TCO                     {   ajustement des PTC - compensation TCO
let v40=0.20                     {   ré-ajustement offset grossier
let v41=v76
let v42=v77
subrout offsetG
subrout gain                    {   ajustement fin du gain
let v41=v71                     {   ajustement final de l'offset
subrout offset
goto boucle9
{
label boucleT3                  { trim 3: ajustement du TCO seul
let v40=0.13
subrout TCO                     {   ajustement des PTC - compensation TCO
let v40=0.18                     {   ré-ajustement offset grossier
let v41=v76
let v42=v77
subrout offsetG
goto boucle9
{
label boucleT4                  { trim 4: ajustement sans TCO (phase B seule)
let v40=0.22
let v41=v76
let v42=v77
subrout offsetG                 {   offset grossier
{subrout gainG                 {   gain grossier
subrout gain                    {   gain fin
let v41=v71                     {   ajustement final de l'offset
let v40=0.32
subrout offset
goto boucle9
{
label boucleT5                  { trim 5: offset grossier
let v40=0                       {   initialise l'indexage des traits (offset)
let v41=v76

```

```

let v42=v77
subrout offsetG           { offset grossier
goto boucle9
{
label boucleT6           { trim 6: offset fin seulement
let v40=0.32
let v40=-0.06
let v41=v71             { ajustement final de l'offset
subrout offset
goto boucle9
{
label boucleT8           { trim 8: augmentation gain DT400!!!!
gpa X0.35 Y-0.7
subrout pos
gct y+1.0
goto boucle9
{
label boucleT9           { trim 9: numéros de série
gpa X0.3 Y-10.7
subrout pos
power 80
wsi 0.5
wvs 3
let s1=i90
let s1=s1 <4>
let s2=s1:1
wcp (s2)
let s2=s1:2
wcp (s2)
let s2=s1:3
wcp (s2)
let s2=s1:4
wcp (s2)
wsi 0.4
let s1=v74%0
gpi x-0.2
wcp (s1)
calc i90=i90+1
{
label boucle9
{
mov a p0
calc i51=i51-1
if i51 = 0 then boucleX2
movi x(v81)
label boucleX2
if i51 > 0 then boucleX
calc I52=I52-1
if i52 = 0 then boucleY2
calc v1=-v81*(i81-1)
movi x(v1) y(v82)
label boucleY2
if i52 > 0 then boucleY
label fin
EXIT           { FIN LOOP
{
{
{
{
{ **** reconnaissance optique ****
{
label optique
gpa X0 Y0           { Bilderkennung: résistance à ajuster
{gpa t
LET I40=-1           { repetitiver Verfahren für Erkennung
SMDMAX X1.5;Y1.5     { Begrenzung der suche
let i1=25            { nombre max de tentatives
label optique1       { cherche le composant
calc i1=i1-1
if i1 < 1 then optique99 { raté: erreur

```

```

SMD M(i53);X(V41);Y(V42);w(v43);h(v44);E(I40) { Erkennung
calc v41=-v41-0
calc v42=-v42-0
out v41 t17;1 'correction X : '
out v42 t18;1 'correction Y : '
out v43 t19;1 'largeur      : '
out v44 t20;1 'hauteur      : '
OUT I40 T21;1 'Ergebnis SMD-Suche:'
out i53 t22;1 'contraste    : '
calc i53=i53-1              { diminue si trop grand
if v43 > 1.3 then optique1   { contrôle dimensions
if v44 > 1.6 then optique1
calc i53=i53+2              { augmente si trop petit
if v43 < 0.7 then optique1   { contrôle dimensions
if v44 < 0.8 then optique1
if I40 = 3212 THEN optique1 { contrôle résultat recherche
calc i53=i53-1
gpa x0 y0
calc v1=abs(v41)
calc v2=abs(v42)
if v1 > 0.05 then optique8
if v2 < 0.05 then optique9
label optique8
movi x(v41) y(v42)
label optique9
subrout pos
return
label optique99
let s1='La reconnaissance optique a échoué'
goto erreur
{
{
{
{ **** mesure *****
{
LABEL mes
SUBROUT Reset_Screen
{
let s1=("*** Mesure de l'offset ***")
out s1 t5;1
subrout force0          { position sans charge
subrout precis          { lecture précise
let s1=v1%4
let s2=v2%4
LET S3=("Offset      = " + s1 + " +- "+s2+" V/V")
OUT S3 T10;1
LET V10=V1              { sauvegarde l'offset
subrout pos
{
let s2=v73%2
let s3=v74%2
let s1=("*** Mesure avec "+s2+" sur "+s3+" mN")
out s1 t5;1
subrout force1          { applique la force
subrout attente         { attend
subrout precis          { lecture précise
let s1=v1%4
let s2=v2%4
LET S3=("+Charge     = " + s1 + " +- "+s2+" V/V")
OUT S3 T11;1
calc v1=(v1-v10)*v74/v73 { calcul de l'excursion à pleine échelle
let s1=v1%4
LET S3=("Excursion= " + s1 + " V/V (à PE)")
OUT S3 T12;1
let v9=i90              { sauvegarde: no série, offset, excursion
let v11=v1
save trim.dat v9-11 a
calc i90=i90+1          { incremente le no de série
{
subrout force0          { désactive la force (pourle suivant)

```

```

return
{
{
{
{ **** trim gain grossier
{
label gainG
SUBROUT Reset_Screen
let s1="*** Ajustement grossier du gain ***"
out s1 t5;1
subrout force0          { enlève la force si elle était appliquée
subrout grossier        { mesure offset
let v10=v1
subrout force1          { applique la force
subrout grossier        { mesure sous charge
subrout gainCalc        { calcul
IEC HP3458A O "DCV 10"  { configuration multimètre
{
if v1 < v22 then gainG5 { Saturé: sort de saturation, puis mesure
let s1="***** saturé! *****"
out s1 t9;1
gpa X+0.05 Y-4.0        { positionnement
calc v10=v86-v69-10*v21 {   { cible: Vcc-saturation-biais
calc v11=0              { VX
calc v12=-2.8           { VY
calc v13=0.03           { pas initial (petit car gain très haut!)
calc v14=0.05           { rapport visé coupe/chemin (saturation!)
calc v15=-1             { signe
subrout PasAPas(v10,v11,v12,v13,v14,v15) { coupe pas à pas préliminaire
subrout force0          { enlève la force
subrout grossier        { mesure offset
let v10=v1
subrout force1          { applique la force
subrout grossier        { mesure sous charge
subrout gainCalc        { refait le calcul
{
label gainG5            { Ajustement grossier du gain
gpa X+0.12 Y-4.0        { positionnement
calc v10=v23-5*v21      { cible, légèrement biaisée
calc v11=0              { VX
calc v12=-2.8           { VY
calc v13=0.02           { pas initial
calc v14=0.3            { rapport visé coupe/chemin
calc v15=-1             { signe
subrout PasAPas(v10,v11,v12,v13,v14,v15) { coupe pas à pas grossière
return
{
label gainCalc          { sous-programme: calcul
calc v2=(v1-v10)*v74/v73/v72 { gain sur gain souhaité
let s2=v2%3
let s1=("gain / gain souhaité = "+s2+" ****")
out s1 t9;1
calc v20=v1/v2*v86      { valeur-cible idéale
calc v21=v86/1000       { un millième de Vcc
calc v22=1-v69/v86      { valeur-limite de saturation (ratiométrique)
calc v23=v20*v78        { valeur-cible pour gain grossier
calc v20=v20*v79        { valeur-cible pour gain fin
return
{
{ **** trim gain fin
{
label gain
SUBROUT Reset_Screen
let s1="*** Ajustement final du gain ***"
out s1 t5;1
subrout force0          { enlève la force si elle était appliquée
subrout precis          { mesure offset
let v10=v1
subrout force1          { applique la force
subrout precis          { mesure sous charge

```



```

subrout gainCalc          { calculs
IEC HP3458A O "DCV 10"    { coupe fine
gpa X+0.20 Y-4.0          { positionnement
calc v10=v20-0.1*v70      { cible, légèrement biaisée
calc v11=0                { VX
calc v12=-2.8             { VY
calc v13=0.02             { pas initial
calc v14=0.2              { rapport visé coupe/chemin
calc v15=-1               { signe
subrout PasAPas(v10,v11,v12,v13,v14,v15)
return
{
{
{ **** TRIM TCO ****
{
{ Coupe dans les résistances PTC pour compenser le TCO
{ v65: intervalle de température pour calibration TCO
{ v66: TCO max. admis en uV/V/K
{ v67: TCR des PTC (valeur utilisée dans les calculs) en ppm/K
{
{ *** Le TCO est quelques fois vraiment mauvais: l'ajustement exigé
{ entraînerait la saturation! Il faut donc:
{   - ajuster le TCO en partie
{   - compenser en ajustant l'offset
{   - ré-ajuster le TCO
{
label TCO
subrout reset_screen
let s1("*** Ajustement du TCO ***")
out s1 t5;1
subrout force0          { contact, sans force
subrout precis          { offset
let s1="OK"
calc v5=(v75-v1)/v65    { calcul TCO
calc v4=v5*1e6
calc v3=abs(v4)
if v3 < v66 then tco2
let s1("*** trop bas")
if v4 < v66 then tco2
let s1("*** trop haut")
label tco2
let s2=v4%0
LET S3("TCO = " + s2 + " uV/V/K : "+s1)
OUT S3 T7;1
if v3 < v66 then tco90
{
IEC HP3458A O "DCV 10"    { configuration multimètre
calc v30=(v66*v65/1000000+v70)*v86 { tolérance absolue en V
calc v31=v86/1000         { un millième de Vcc
calc v32=-v4/v67*v86      { décalage en V
calc v35=v1*v86+v32+v85   { valeur-cible
let s1=v35%3
let s2=v30%3
let s3("cible = " + s1 + "+-" + s2 + " V")
out s3 t10;1
let s2=v32%3
let s3("décal.= " + s2 + " V")
out s3 t11;1
{
if v32 > 0 then tco20      { TCO trop haut : diminuer
if v35 > v68 then tco12   { saturation négative!
calc v10=v33-v32          { décale l'offset en conséquence
subrout tcoLim
calc v41=v10/v86
let v42=9999
out "**** saturation négative ****" t12;1
subrout offsetGX
out "" t12;1
subrout precis            { refait la mesure
calc v35=v1*v86+v32+v85   { refait le calcul de la valeur-cible

```

```

label tco12
gpa X-8.1 Y-14.8          { coupe grossière
calc v10=v35+9*v31        {  cible: un peu avant
subrout tcoLim
calc v11=0                {  VX
calc v12=-1.8             {  VY
calc v13=0.04             {  pas initial
calc v14=0.3              {  rapport visé coupe/chemin
calc v15=-1               {  signe
IEC HP3458A O "NPLC 1"    {  mesure grossière
subrout PasAPas(v10,v11,v12,v13,v14,v15)
gpa X-7.8 Y-14.8          { coupe fine
calc v10=v35-0.2*v20      {  cible (légèrement biaisée)
subrout tcoLim
calc v11=0                {  VX
calc v12=-1.8             {  VY
calc v13=0.02             {  pas initial
calc v14=0.1              {  rapport visé coupe/chemin
calc v15=-1               {  signe
IEC HP3458A O "NPLC 4"    {  mesure lente et précise
subrout PasAPas(v10,v11,v12,v13,v14,v15) { coupe pas à pas fine
goto tco90
{
label tco20                { TCO trop bas : augmenter
calc v1=v86-v69
if v35 < v1 then tco22     { saturation positive!
calc v10=v1-v32           {  décale l'offset en conséquence
subrout tcoLim
let v41=0
calc v42=v10/v86
out "**** saturation positive ****" t12;1
subrout offsetGX
out "" t12;1
subrout precis            {  refait la mesure
calc v35=v1*v86+v32+v85   {  refait le calcul de la valeur-cible
label tco22
gpa X-8.1 Y-10.8          { coupe grossière
calc v10=v35-9*v31        {  cible: un peu avant
subrout tcoLim
calc v11=0                {  VX
calc v12=-1.8             {  VY
calc v13=0.04             {  pas initial
calc v14=0.3              {  rapport visé coupe/chemin
calc v15=+1               {  signe
IEC HP3458A O "NPLC 1"    {  mesure grossière
subrout PasAPas(v10,v11,v12,v13,v14,v15)
gpa X-7.8 Y-10.8          { coupe fine
calc v10=v35+0.2*v30      {  cible (légèrement biaisée)
subrout tcoLim
calc v11=0                {  VX
calc v12=-1.8             {  VY
calc v13=0.02             {  pas initial
calc v14=0.1              {  rapport visé coupe/chemin
calc v15=+1               {  signe
IEC HP3458A O "NPLC 4"    {  mesure lente et précise
subrout PasAPas(v10,v11,v12,v13,v14,v15) { coupe pas à pas fine
label tco90
return
{
{
{ sous-programme: limite les valeurs-cibles pour éviter la saturation
{
{  v10: valeur-cible -> v10: valeur-cible limitée
{
label tcoLim
calc v1=v68+0.005*v86
if v10 > v1 then tcoLim2
let v10=v1
label tcoLim2
calc v1=v86-v69-0.005*v86

```

```

if v10 < v1 then tcoLim3
let v10=v1
label tcoLim3
return
{
{
{ **** TRIM OFFSET grossier *****
{
{ Ajuste l'offset grossièrement avant aj. gain; sort de saturation
{
{ paramètres
{ v40: décalage du laser (évite plusieurs traits au même endroit)
{ v41: valeur minimale de l'offset (si trop bas, ajuste vers v76)
{ v42: valeur maximale de l'offset (si trop haut, ajuste vers v77)
{
LABEL offsetG
SUBROUT Reset_Screen
let s2=v40%2
let s1=("*** Ajustement grossier de l'offset, décalage "+s2+" ***)
out s1 t5;1
label offsetGX
subrout force0 { contact, sans force
subrout grossier { offset
let s1="***** pas alimenté? *****"
if v1 < 0.005 then erreur
let s1="OK"
if v1 < v42 then offsetG2
let s1="*** trop haut"
label offsetG2
if v1 > v41 then offsetG3
let s1="*** trop bas"
label offsetG3
LET S3=("Offset = " + V1 + " +- "+v2+" mV/V : "+s1)
OUT S3 T7;1
subrout pos
{
IEC HP3458A O "DCV 10" { configuration multimètre
calc v21=v86/1000 { un millième de Vcc
{
if v1 < v77 then offsetG5 { offset trop haut : diminuer
calc v1=-9.6+v40 { coupe préliminaire : sort de saturation
calc v40=v40+0.05
gpa X(v1) Y-14.8
calc v10=v86-v69 { cible = Vcc - limite sup. de saturation
calc v11=0 { VX
calc v12=-2.5 { VY
calc v13=0.02 { pas initial (petit car gain très haut!)
calc v14=0.005 { rapport visé coupe/chemin (saturation!)
calc v15=-1 { signe
IEC HP3458A O "NPLC 1" { mesure pas trop précise
subrout PasAPas(v10,v11,v12,v13,v14,v15) { coupe pas à pas préliminaire
calc v1=-9.6+v40 { coupe grossière
calc v40=v40+0.05
gpa X(v1) Y-14.8
calc v10=v42*v86-9*v21 { cible (coupe un peu au-delà)
calc v11=0 { VX
calc v12=-2.5 { VY
calc v13=0.02 { pas initial
calc v14=0.2 { rapport visé coupe/chemin
calc v15=-1 { signe
subrout PasAPas(v10,v11,v12,v13,v14,v15) { coupe pas à pas grossière
goto offsetG8
label offsetG5
if v1 > v76 then offsetG8 { offset trop bas : augmenter
calc v1=-9.6+v40 { coupe préliminaire : sort de saturation
calc v40=v40+0.05
gpa X(v1) Y-10.8
calc v10=v68 { cible = limite de saturation inférieure
calc v11=0 { VX
calc v12=-2.5 { VY

```

```

calc v13=0.01          { pas initial (petit car gain très haut!)
calc v14=0.005         { rapport visé coupe/chemin (saturation!)
calc v15=+1            { signe
IEC HP3458A O "NPLC 1" { mesure pas trop précise
subrout PasAPas(v10,v11,v12,v13,v14,v15){ coupe pas à pas préliminaire
calc v1=-9.6+v40       { coupe grossière
calc v40=v40+0.05
gpa X(v1) Y-10.8
calc v10=v41*v86+9*v21 { cible (coupe un peu au-delà)
calc v11=0             { VX
calc v12=-2.5          { VY
calc v13=0.02          { pas initial (on continue la coupe!)
calc v14=0.3           { rapport visé coupe/chemin
calc v15=+1            { signe
subrout PasAPas(v10,v11,v12,v13,v14,v15){ coupe pas à pas grossière
label offsetG8
subrout grossier       { vérification
let s1="***** L'ajustement grossier a échoué *****"
if v1 < v41 then erreur
if v1 > v42 then erreur
label offsetG9
return
{
{
{
{ **** TRIM OFFSET fin *****
{
{ paramètres
{ v40: décalage du laser (évite plusieurs traits au même endroit)
{ v41: offset à atteindre (peut être différent si phase A ou phase B)
{
LABEL offset
SUBROUT Reset_Screen
let s2=v40%2
let s1=("*** Ajustement fin de l'offset, décalage "+s2+" ***")
out s1 t5;1
subrout force0        { contact, sans force
subrout precis        { offset
let s1="OK"
calc v1=v1-v41        { erreur par rapport à la valeur-cible
if v1 < v70 then offset2
let s1="*** trop haut"
label offset2
calc v3=-v1
if v3 < v70 then offset3
let s1="*** trop bas"
label offset3
calc v4=v1*1000
calc v2=v2*1000
LET S3=("Erreur = " + V4 + " +- "+v2+" mV/V : "+s1)
OUT S3 T7;1
subrout pos
{
IEC HP3458A O "DCV 10" { configuration multimètre
calc v20=v70*v86       { tolérance absolue en V
calc v21=v86/1000      { un millième de Vcc
calc v22=v41*v86       { valeur-cible
{
if v1 < v70 then offset5 { offset trop haut : diminuer
calc v1=-9.6+v40       { coupe fine
calc v40=v40+0.07
gpa X(v1) Y-14.8
calc v10=v22-0.05*v20 { cible (légèrement biaisée)
calc v11=0             { VX
calc v12=-2.3          { VY
calc v13=0.02          { pas initial
calc v14=0.1           { rapport visé coupe/chemin
calc v15=-1            { signe
IEC HP3458A O "NPLC 4" { mesure lente et précise
subrout PasAPas(v10,v11,v12,v13,v14,v15) { coupe pas à pas fine

```

```

goto offset8
label offset5
if v3 < v70 then offset8      { offset trop bas : augmenter
calc v1=-9.6+v40              { coupe fine
calc v40=v40+0.1
gpa X(v1) Y-10.8
calc v10=v22+0.05*v20        { cible (légèrement biaisée)
calc v11=0                   { VX
calc v12=-2.3                { VY
calc v13=0.02                { pas initial
calc v14=0.1                 { rapport visé coupe/chemin
calc v15=+1                  { signe
IEC HP3458A O "NPLC 4"        { mesure lente et précise
subrout PasAPas(v10,v11,v12,v13,v14,v15){ coupe pas à pas fine
{
label offset8
return
{
{
{
{ ***** lit le voltmètre, moyenne de 10 mesures -> v1, écart v2
{
{ lecture : résultat absolu en V
{ lectureR: résultat ratiométrique corrigé en V/V (-v85, /v86)
{
label lecture
{
IEC HP3458A O "DCV 10"
IEC HP3458A O "NRDGS 50,AUTO"
delay 100
let i1=10
let v1=0.0
let v2=0.0
IEC HP3458A I V4
label lecture2
IEC HP3458A I V3
calc v1=v1+v3
calc v2=v2+(v3-v4)*(v3-v4)
calc i1=i1-1
if i1 > 0 then lecture2
calc v1=v1/10
calc v2=v2-10*(v4-v1)*(v4-v1)
calc v2=sqrt(v2/9)
return
{
{
label lectureR
{
subrout lecture
calc v1=(v1-v85)/v86
calc v2=v2/v86
return
{
{
{
{ ***** se met en position de mesure, sans force
{ (enlève la force si appliquée)
{
label force0
mspeed p80
mova p(v90)
return
{
{
{ ***** se met en position de mesure, avec force
{
label forcel
mspeed p10          { applique la force
mova p(v91)
return

```

```

{
{
{ ***** attend après changement de force
{
{ paramètres
{
{ i70: attente, en unités arbitraires
{
label attente
scan a20;b22 { mesure du signal de sortie
IEC HP3458A O "NPLC 1" { mesure assez rapide
let i5=i70
label attente2
subrout lectureR
let s1=i5
LET s1=(s1+": valeur = " + V1 + " +- "+v2+" mV/V")
OUT s1 T7;1
calc i5=i5-1
if i5 > 0 then attente2
return
{
{
{ ***** effectue une mesure (ratiométrique) grossière
{
{ sorties:
{ v1: mesure (moyenne de 10)
{ v2: écart-type
{
label grossier
scan a20;b22 { mesure du signal de sortie
IEC HP3458A O "NPLC 1" { mesure grossière
subrout lectureR
return
{
{
{ ***** effectue une mesure (ratiométrique) précise
{
{ sorties:
{ v1: mesure (moyenne de 10)
{ v2: écart-type
{
label precis
scan a20;b22 { mesure du signal de sortie
IEC HP3458A O "NPLC 4" { mesure précise
subrout lectureR
return
{
{
{ ***** Subroutine Reset screen *****
{ *****
LABEL Reset_Screen
LET S98=" "
{OUT S98 T4;1
OUT S98 T5;1
OUT S98 T6;1
OUT S98 T7;1
OUT S98 T8;1
OUT S98 T9;1
OUT S98 T10;1
OUT S98 T11;1
OUT S98 T12;1
OUT S98 T13;1
OUT S98 T14;1
OUT S98 T15;1
OUT S98 T16;1
OUT S98 T17;1
OUT S98 T18;1
OUT S98 T19;1
OUT S98 T20;1
OUT S98 T21;1

```

```

RETURN
{
LABEL Delay
DELAY 300
RETURN
{
{
***** coupe en pas à pas
{
label PasAPas(v10,v11,v12,v13,v14,v15)
{
  Paramètres:
  { v10 : valeur-cible
  { v11 : vecteur-distance maximale: composante X
  { v12 : vecteur-distance maximale: composante Y
  { v13 : pas initial exprimé en fraction du vecteur-distance
  { v14 : rapport visé: effait d'un pas / distance à couvrir
  { v15 : signe (-1: vers le bas; +1: vers le haut)
  {
  Interne:
  { v1,2: vecteur de déplacement
  { v3 : valeur antérieure
  { v4 : valeur actuelle
  { v5 : pas (fraction du vecteur-distance) actuel
  { v6 : fraction couverte depuis début de l'ajustement
  { v7 : temporaire
  {
IEC HP3458A O "NRDGS 50,AUTO" { valeur initiale
IEC HP3458A I V4
let v6=1 { initialise la distance restante
let v5=v13 { valeur initiale du pas
subrout pos
goto PasAPas5
label PasAPas1 { boucle des pas
calc v1=(v4-v3)/(v10-v4) { r = distance couverte / à faire
calc v2=v1/v14 { rapport r obtenu sur r critique
LET S1=("cible =" +V10)
out s1 t16;1
let s1=("valeur =" +v4)
out s1 t17;1
let s1=("ancienne="+v3)
OUT S1 T18;1
let s1=("coupe =" +v5)
out s1 t19;1
let s1=("reste =" +v6)
out s1 t20;1
let s1=("r/rc =" +v2)
out s1 t21;1
if i99 > 0 then PasAPas11
subrout pos
label PasAPas11
if v1 > v14 then PasAPas2 { si <idéal, on accélère de 1.1
calc v5=v5*1.1
if v5 < v13 then PasAPas3 { (toutefois pas plus de la vitesse initiale)
calc v5=v13
goto PasAPas3
label PasAPas2 { si >idéal, on freine de 3.0
calc v5=v5/3.0
label PasAPas3
if v5 < v6 then PasAPas4 { évite de trop couper
calc v5=v6
label PasAPas4
calc v5=v5+0.0005 { évite de trop freiner; garantit une fin
calc v1=v11*v5 { coupe sur la fraction choisie de la distance
calc v2=v12*v5
gct x(v1) y(v2)
delay 200 { attend un petit moment
calc v6=v6-v5 { décremente la fraction restante
if v6 < 0 then PasAPas9 { si distance max dépassée, sort
label PasAPas5

```

```
let v3=v4                                { actualise la valeur antérieure
IEC HP3458A O "NRDGS 50,AUTO" { valeur actuelle
IEC HP3458A I V4
calc v1=v15*v4                          { compare en tenant compte du signe
calc v2=v15*v10
if v1 < v2 then PasAPas1
label PasAPas9
let s1=("valeur finale/précédente:"+v4+"/"+"v3+"; reste à couper:"+v6)
out s1 T7;1
subrout pos
return
{
{
{
{***** effectue un positionnement / temporisation (GPA T) si spécifié
{
label pos
if i99 > 1 then pos9
gpa t
label pos9
return
{
```